Waterkoeling

Bij 'koeling' denkt u aan koelplaten en ventilatoren. Tóch bestaat er een ander systeem om elektronische componenten te koelen: waterkoeling. Dit systeem is ontwikkeld voor het koelen van uw PC, maar is ook bruikbaar voor het koelen van andere thermisch zwaar belaste elektronische onderdelen.

Auteur: Jos Verstraten, Landgraaf, Nederland
Email: josverstraten@live.nl
Publicatiedatum: 03-09-2018

Waar komt die hitte toch vandaan?

Snelle elektronica wordt warm
Als u wel eens de kast van uw PC hebt open geschroefd hebt u vastgesteld dat de elektronica steeds minder plaats inneemt. De kast is zo goed als leeg op één onderdeel na dat zéér prominent aanwezig is: de *'radiateur'* op de processor. Wij schrijven met opzet *'radiateur'* en niet *'koelplaat'*. Het onderdeel vertoont inderdaad wel wat gelijkenis met de radiateur van uw auto. Een groot massief aluminium meestal zwart geschilderd blok, voorzien van één of soms wel twee ventilatoren voor geforceerde luchtkoeling, zie onderstaande figuur.



Een modern moederbord met de radiateur op de processor. (© Alternate)

Stroom wekt warmte op
Elektrische stroom die door een geleider vloeit wekt warmte op. Een natuurwet waar zelfs

elektronica-ontwerpers niet aan kunnen ontkomen. In een moderne processor, met zijn miljoenen onderdelen en zijn kloksnelheid van meerdere GHz, vloeit nogal wat stroom. De processor wordt dus flink heet, zeker als u voortdurend processor-intensieve toepassingen draait, zoals het beluisteren van MP3's of het afspelen van MP4's. Zonder koeling zou de processor binnen de minuut letterlijk intern smelten! Die noodzakelijke intensieve koeling stelt de systeembouwers voor nogal wat problemen. Enerzijds dwingt de moordende concurrentie tot het op de markt brengen van steeds goedkopere systemen, anderzijds dwingt het moderne intensief PC-gebruik tot steeds uitgebreidere koeling. De moderne koelsystemen zijn peperduur en dus wordt nét dat geïnstalleerd dat nét voldoende koelt om de processor in leven te houden.

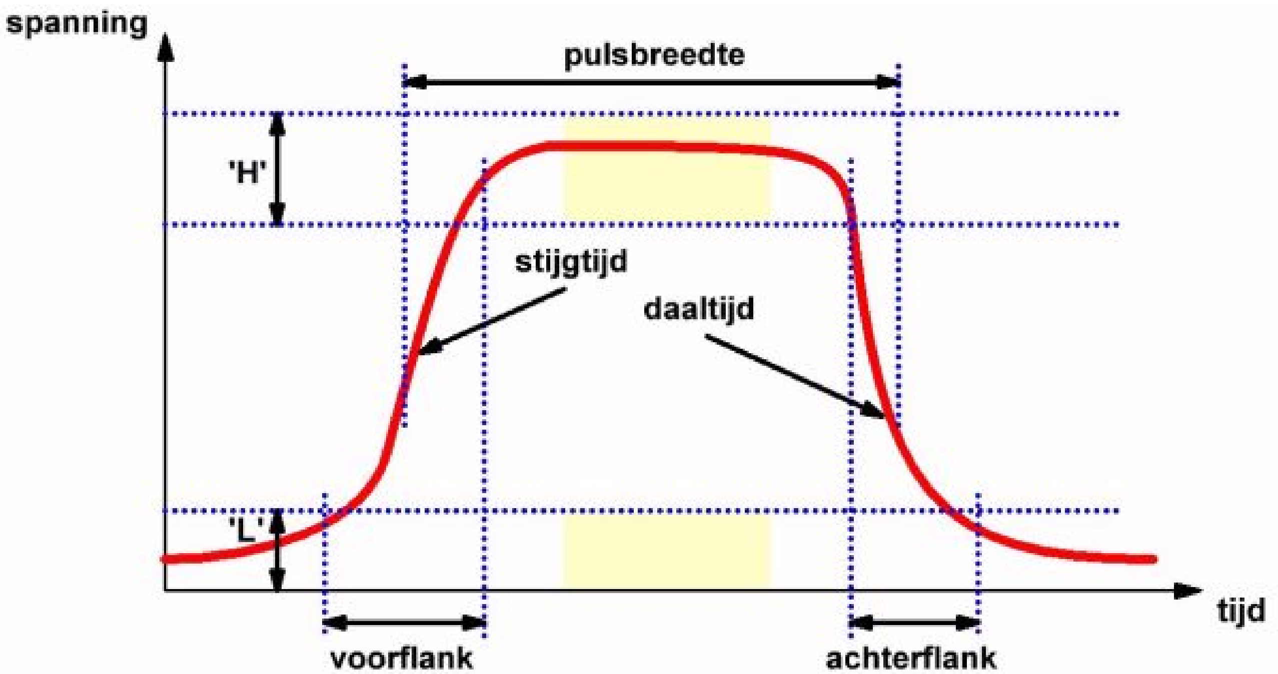
Schakelen kost ook energie

De hoge kloksnelheden van de moderne processor dragen ook nog op een andere manier bij aan de warmte-ontwikkeling in de chip. Processoren werken digitaal, alle transistoren schakelen dus hun uitgang naar 'L' of naar 'H'. Maar dat schakelen gaat niet in een oneindig korte tijd. Zelfs met de moderne voor- en achterflanken die onder de ns liggen, zal de uitgangspuls van een transistor dus een bepaalde tijd tussen 'L' en 'H' zweven.

Drie schakeltoestanden

Een transistor kan zich in drie toestanden bevinden:

- **De transistor is open.**
  Er vloeit dan geen stroom door het onderdeel hetgeen er per wiskundige definitie op neer komt dat er ook géén vermogen in het onderdeel wordt verbruikt, de warmtedissipatie is dus nul.
- **De transistor is gesloten.**
  Er vloeit nu wél stroom door het onderdeel en het vermogen dat in de transistor wordt opgewekt hangt af van de spanning over de transistor en van de inwendige geleidingsweerstand van het onderdeel. Beide worden tegenwoordig zo laag mogelijk gemaakt. Moderne processoren werken al men een zogenoemde core-spanning van minder dan 2 V. Er wordt in deze toestand dus wel wat warmte opgewekt, maar dat is minimaal.
- **De transistor zit in de voor- of de achterflank.**
  Op dát moment vloeit er een vrij grote stroom door het onderdeel, terwijl de inwendige weerstand bezig is om te schakelen van (theoretisch) oneindig hoog naar (theoretisch) oneindig laag (of vice versa). Er wordt nu dus een behoorlijke hoeveelheid warmte gegenereerd.



De niet oneindig kleine schakeltijden zijn een belangrijke oorzaak van de

Hoe sneller, hoe heter
Dit alles is geen groot probleem als de schakelsnelheid van de transistor vrij laag is. Als de 'L'- en 'H'-perioden van het uitgangssignaal bijvoorbeeld gemiddeld 1 ms lang zijn en de schakeltijden bedragen 10 ns, dan zal de transistor maar een tienduizendste van de tijd in een situatie verkeren, waarin veel warmte wordt gegenereerd. Gedurende de lange 'L'- en 'H'-perioden kan het onderdeel de gegenereerde warmte gemakkelijk afstaan aan de chip, de IC-behuizing en de buitenwereld. Als echter de kloksnelheid wordt opgeschroefd tot in het GHz-gebied, dan zullen de voor- en achterflanken een zeer groot deel van de totale pulstijd in beslag nemen. Met andere woorden: de transistor zit bijna steeds in een situatie waarin veel warmte wordt gegenereerd. Zonder speciale koeltechnieken zou de warmte niet kunnen worden afgevoerd en zou de transistor sneuvelen.

Aan- en uitschakelen is op termijn dodelijk
Het gevolg is dat de transistor opwarmt tot de grens van wat het onderdeel nog nét kan verdragen. Op zich géén probleem, ware het niet dat een andere natuurwet parten speelt. Iets dat opwarmt zet uit, iets dat afkoelt krimpt. Als u een schakeling dus vaak aan en uit zet zal de processor voortdurend afkoelen tot kamertemperatuur en nadien weer opwarmen tot een temperatuur van vér boven de honderd graden. Door het steeds opnieuw uitzetten en krimpen van de behuizing ontstaan mechanische spanningen in het onderdeel die op termijn tot beschadiging leiden.

Water contra lucht

Water koelt beter dan lucht
Het is dus heel verstandig een elektronisch onderdeel zoals een processor of een vermogenstransistor niet iedere keer opnieuw tot zijn maximale bedrijfstemperatuur op te warmen. Lagere bedrijfstemperaturen hebben minder mechanische spanningen tot gevolg. Maar dan zouden de radiateuren nog groter en nog duurder moeten worden dan ze nu al zijn. Er is echter een voor de hand liggende oplossing. De radiateur in een auto koelt het motorblok in de meeste gevallen niet met lucht maar met water. Het kokend hete water wordt rondgepompt en in de radiateur met geforceerde luchtstroming afgekoeld. Waarom dit systeem niet toepassen op een processor? Water heeft immers een veel grotere warmtecapaciteit dan lucht, met als gevolg dat water veel beter in staat is de warmte-ontwikkeling in de processor of in andere halfgeleiders af te voeren.

Een lekker koel en stil systeem
Waterkoeling heeft nog andere voordelen. Aangezien de warmte bij een goed aangelegd systeem wordt afgevoerd vanuit de kast naar buiten zal de temperatuur in de kast ook dalen, de processor is immers de belangrijkste hittebron in de kast. Waterkoeling leidt dus tot een lagere temperatuur van de gehele computer. Een factor waar vaak minder op wordt gelet, is de geluidsproductie. Doordat het aantal fans om de PC te koelen flink kan worden teruggebracht (tot 1 of 2) zal het geluidsniveau dramatisch afnemen. Een beter gekoeld systeem met minder geluidsproductie dus!

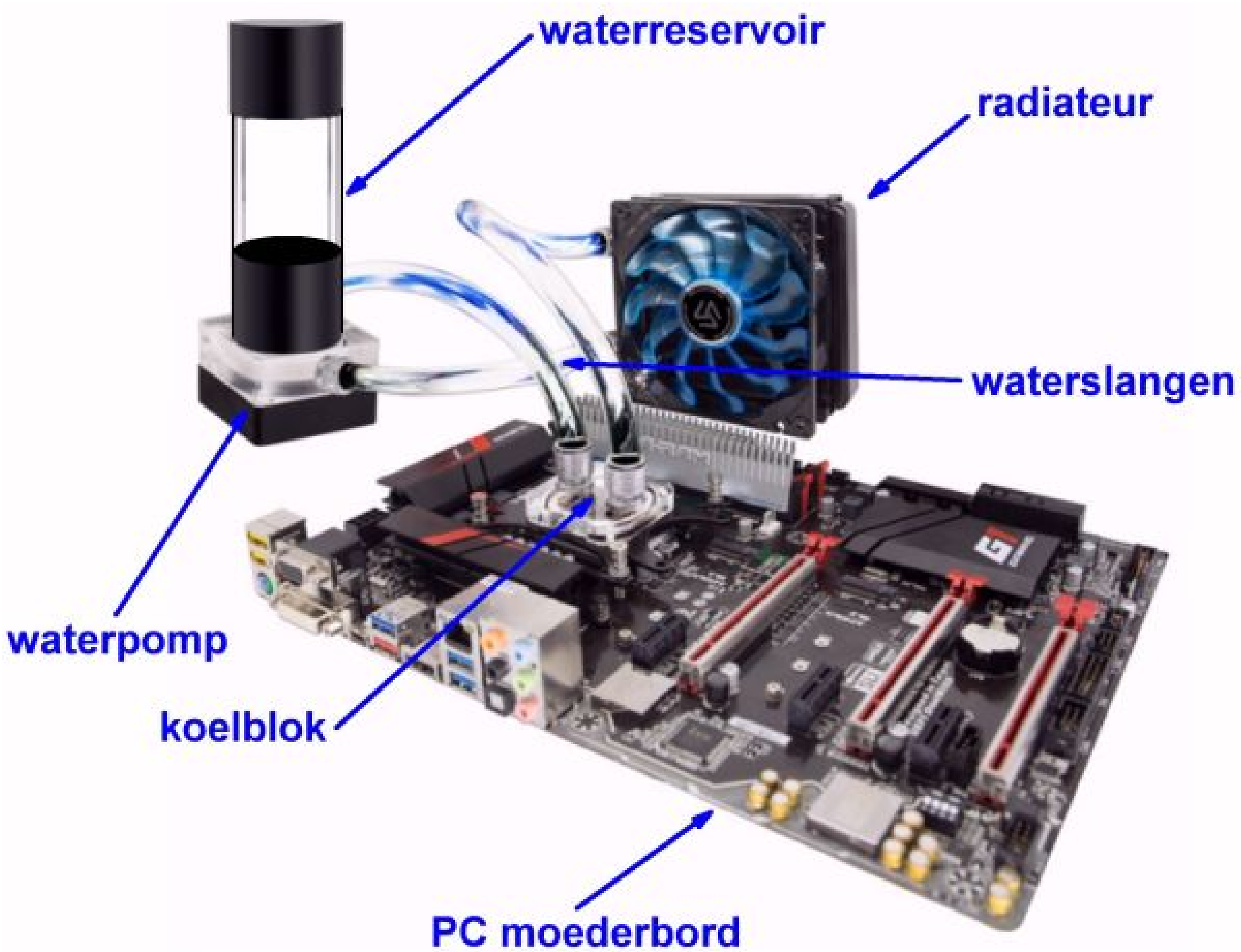
Waterkoeling heeft de toekomst
Waterkoeling van processoren en andere onderdelen die veel vermogen moeten verwerken is een serieuze zaak aan het worden en verschillende fabrikanten brengen spullen op de markt waarmee u, als u tenminste geen twee linkerhanden hebt, in een mum van tijd uw PC van waterkoeling voorziet. Tegenwoordig zijn er zelfs handige kits op de markt, waar alle noodzakelijke onderdelen in zitten én een uitgebreide handleiding. Waterkoeling installeren is tegenwoordig bijna nét zo gemakkelijk als een of andere nieuwe kaart monteren.

Een waterkoeling systeem

Wat hebt u minimaal nodig voor het inbouwen van een watergekoeld systeem? Dat valt wel mee:

- – Een koelblok.
- – Een paar stukjes waterslang.
- – Een waterpomp.
- – Een waterreservoir.
- – Een radiateur.

In de volgende paragrafen worden deze onderdelen nader bekeken.



Een overzicht van alle componenten van een waterkoeling systeem. (© 2018 Jos Verstraten)

Koelblokken voor de koeling van uw processor

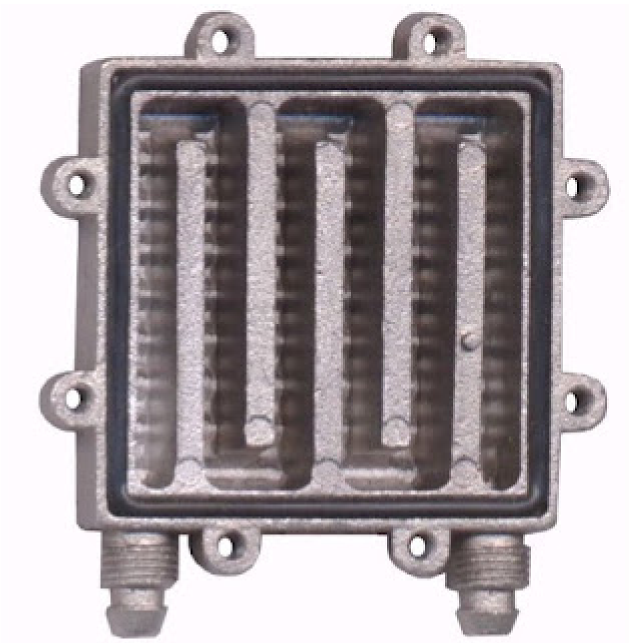
De warmte van de processor afvoeren
Het koelblok komt in de plaats van de bestaande koelplaat op de processor te zitten en heeft als doel de warmte van de processor af te geven aan het water dat door het koelblok stroomt. Een watergekoeld blok is veel kleiner dan de grote koelplaat mét ventilator die nu op de processor zit.
Koelblokken zijn van koper of aluminium. Koper geleidt de warmte iets beter dan aluminium, maar een goed ontworpen aluminiumblok neemt meer hitte van de processor weg dan een slecht koperblok.
Maar, hoe dan ook, elk waterblok functioneert véél beter dan welke luchtkoeler dan ook!
Koelblokken zijn in diverse uitvoeringen leverbaar en natuurlijk ook voor alle processormodellen. In onderstaande figuur wordt als voorbeeld de *HeathKiller IV* van *Aquatuning* voorgesteld. Aan de bovenzijde bevinden zich twee nippels waarmee u de

waterslangen voor de aan- en afvoer van het koelwater absoluut lekvrij op het onderdeel kunt bevestigen. De onderzijde van het koelblok is uiteraard absoluut glad afgewerkt, want deze bodemplaat wordt uiteraard op de behuizing van de processor bevestigd.
Uit deze foto blijkt onmiddellijk één groot voordeel van waterkoeling. Dit koelblok is maar 66 mm bij 59 mm bij 17 mm groot. Een enorm verschil met de radiateur van de eerste foto van dit artikel!
Als u denkt dat aan een dergelijk simpel onderdeel ook wel een simpel prijskaartje hangt, hebt u het mis. Voor deze waterkoeler betaalt u een sappige zeventig euro!



De HeathKiller IV is een typisch voorbeeld van een CPU-cooler. (© Aquatuning)

Op een lange waterweg komt het aan
Als u zo'n koelblok open sloopt zult u vaststellen dat het koperen of aluminium blok in een zigzagvormig patroon is uitgefreesd. Dat is logisch, want het water moet zo lang mogelijk door het blok stromen om zoveel mogelijk warmte af te voeren. Deze kanalen hebben wél als nadeel dat de wrijving tussen het water en het koelelement vrij hoog wordt en er dus flink gepompt moet worden om de waterstroom op gang te houden.

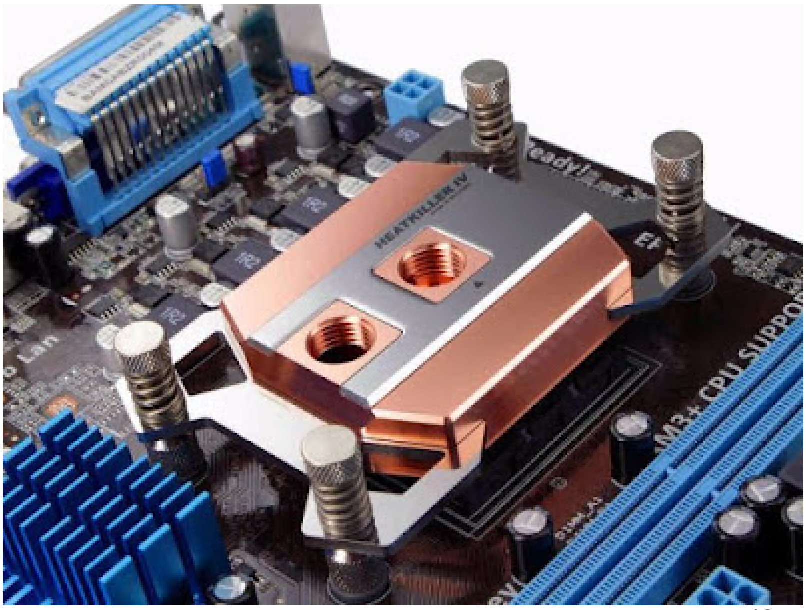


Het koelwater stroomt zigzaggend door het metaal zodat zoveel mogelijk warmte wordt geabsorbeerd. (© Senfu)

Hier zit het kwaliteitsverschil
Er bestaan aanzienlijke prijsverschillen tussen de aangeboden koelblokken. De zorg die is besteed aan de interne afwerking van het koelblok heeft hier veel mee te maken. Soms zijn de kanalen tamelijk slordig uitgefreesd met niet al te gladde wanden, soms zijn deze

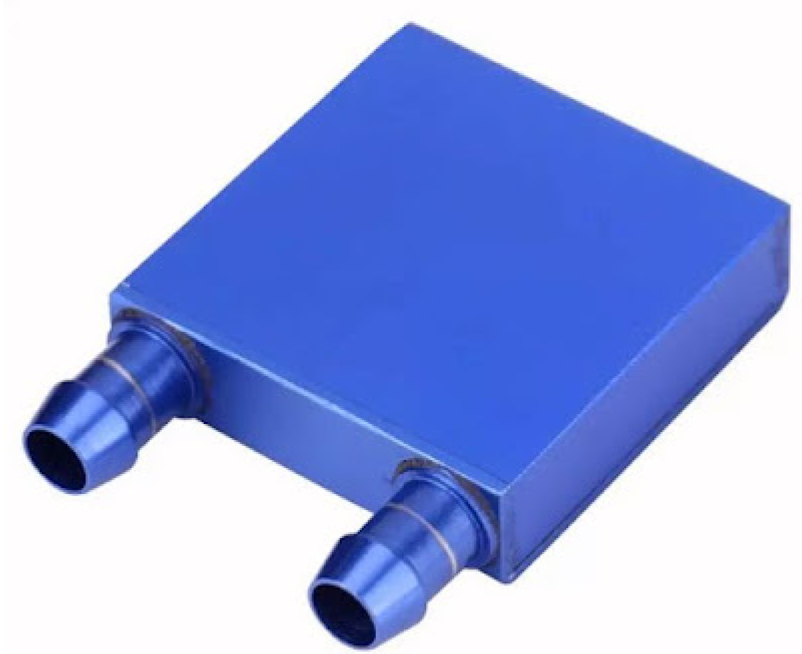
koelgangen werkelijk perfect glad. Het zal duidelijk zijn dat in het eerste geval de doorstroming van het koelwater nogal wordt gehinderd. Tegenwoordig zijn er zelfs fabrikanten die gebruik maken van volledig gegoten aluminium blokken, waarbij de afwerking van het inwendige kanaal werkelijk perfect is. Deze aluminium koelers zijn echter peperduur.

Op de processor monteren
Het monteren van een watergekoeld koelblok op de processor gaat net zo gemakkelijk als het monteren van een klassieke koelplaat. U moet er natuurlijk wél voor zorgen dat het juiste type voor het processormodel in huis wordt gehaald. Alle koelblokken worden geleverd met uitgebreide handleidingen en bevestigingssets voor diverse processoren. In onderstaande figuur is te zien hoe zo'n koelblok met de gebruikelijke klem aan de voet van de processor wordt gevestigd.



Het monteren van een watergekoeld koelblok op de processor. (© Aquatuning)

Diverse uitvoeringen
Ieder koelblok is, dat kan niet anders bij een radiateur, voorzien van twee aansluitnippels voor de aan- en afvoer van het koelwater. Er zijn koelblokken waar deze nippels aan de bovenzijde zitten en koelblokken waar deze aan de zijkant zitten. Het tweede model heeft als voordeel dat het water gemakkelijker door de zigzagvormige kanalen in het blok kan stromen. In onderstaande figuur is als voorbeeld een koelblok weergegeven dat door diverse Chinese postorderbedrijven voor een prijs rond € 15,00 wordt aangeboden. Dit koelblok heeft als afmetingen slechts 40 mm x 40 mm x 12 mm en kan bijvoorbeeld worden toegepast als extra koeling die de warmte van normale koelplaten afvoert buiten de behuizing van een apparaat.



Een alternatieve uitvoering van een koelblok met de aansluitnippels aan de zijkant van het koelblok. (© DxCom)

Adapters
Voor de meeste modellen met aansluitnippels aan de bovenzijde van het koelblok zijn adapters te koop, zodat u de slangetjes ook evenwijdig aan de printplaat van het moederbord kunt aansluiten. In onderstaande figuur is zo'n adapter voorgesteld van *AquaTuning*.



Een adapter voor het radiaal aansluiten van de koelslangen op een axiaal koelblok. (© AquaTuning)

Koeling van de grafische processor
Radiale koelblokken zijn ook handig als u besluit niet alleen de processor te voorzien van waterkoeling, maar ook de grafische processor op een extreem snelle grafische kaart. Deze zit in een uitbreidingsslot en er is daar uiteraard geen ruimte op de slangetjes loodrecht op het koelblok aan te sluiten. In onderstaande figuur is een speciaal voor de waterkoeling van de grafische processoren van Nvidia Geforce ontwikkeld koelblok voorgesteld van de firma *AlphaCool*. Dit koelblok is extreem dun en de aansluitnippels nemen erg weinig ruimte in. Een en ander heeft tot gevolg dat er maar één slot verloren gaat.



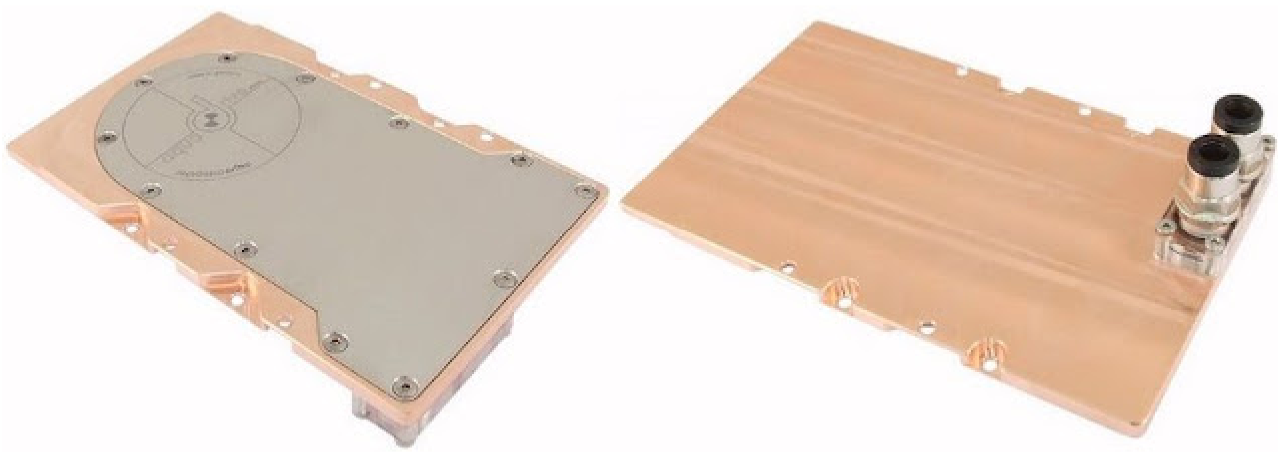
Een dun koelblok voor montage op printen die in de uitbreidingsslots zitten. (© AlphaCool)

Koelblokken voor de koeling van uw harde schijf

Inleiding
Ook een moderne harde schijf wordt behoorlijk warm. Om de reeds bij de processor besproken redenen (krimpen - uitzetten) komt dit de levensduur van de disk niet ten goede. In de inbouwslede is geen ruimte voor het monteren van een ventilator of een koelplaat. In een normale behuizing wordt de harde schijf iets gekoeld door de luchtstroom die de ventilatoren in de kast genereren, maar veel is dat niet.

Waterkoeling
Als u bezig bent met het inbouwen van een waterkoeling, kunt u meteen ook de harde schijf in het systeem opnemen. Diverse gespecialiseerde bedrijven maken *'HDD-coolers'*. Er zijn twee technologieën ontwikkeld voor het waterkoelen van uw harde schijf.

Eerste technologie
Bij dit systeem wordt een extreem dunne holle sandwich van koperen platen rechtstreeks op de harde schijf bevestigd. Het koelwater stroomt tussen de twee koperen platen. In onderstaande foto is een typische vertegenwoordiger van dit type HDD-cooler voorgesteld, de *'Aquadrive Micro Copper G1/4'* van *AquaComputer*.



Een extreem dun koelblok voor het koelen van uw harde schijf. (© AquaComputer)

Tweede technologie
Bij deze koelers worden uw harde schijven tussen twee holle flenzen gemonteerd, waardoor het koelwater stroomt. Het slangetje tussen de twee blokken zorgt voor de circulatie van het

koelwater. De koelblokken hebben dusdanige afmetingen dat uw 3.5 inch harde schijf, wat betreft afmetingen, wordt omgevormd tot een ouderwetse 5.25 inch floppy-drive, die zonder problemen in een slede van uw behuizing past. In onderstaande foto ziet u de koeler zonder en mét erin gemonteerde harde schijf.



Bij dit systeem wordt uw harde schijf tussen twee koelblokken geklemd. (© AliExpress)

Koelblokken voor de koeling van losse onderdelen

Koelen van chip's
Voor het koelen van individuele IC's of een reeks in lijn opgestelde identieke chip's zijn diverse koelblokken leverbaar, waarvan onderstaande foto een indruk geeft. Dit koelblok met als afmetingen 125,1 mm x 22,7 mm x 16 mm en als naam *'AlphaCool D-RAM Cooler X2 Universal'* kunt u op een aantal in lijn opgestelde identieke IC's schroeven.



Een koelblok dat u op een aantal in rij opgestelde IC's kunt bevestigen. (© AlphaCool)

Koelen van vermogenstransistoren en stabilisatoren
Voor het koelen van uw halfgeleiders in TO-220 behuizing kunt u gebruik maken van onderstaande koelblokken. Dit type heet *'HeatKiller SB'* en u klemt de TO-220 halfgeleider tussen deze koeler en de print. De afmetingen bedragen 39 mm x 39 mm x 18 mm.



Een koelblok voor het koelen van TO-220 halfgeleiders.
(© WaterCool)

De waterslang

Aan- en afvoeren van het koelwater
Om het koelwater in de koelblok(ken) te krijgen en weer af te voeren, kunt u slang of buis gebruiken. Slang is uiteraard de gemakkelijkste optie, u bent immers waarschijnlijk geen gediplomeerd loodgieter. Slang is in diverse maten, materialen en kwaliteit te koop. De maat moet uiteraard zijn afgestemd op de nippels van het koelblok, de pomp en de radiateur. Koop kwalitatief hoogwaardige slang, het zal wel niet noodzakelijk zijn om u te waarschuwen tegen de gevaren van lekkages in elektronische schakelingen!
Deze slangen lijken een beetje op normale aquariumslang (behalve wat prijs betreft), maar volgens de fabrikant is de kwaliteit onvergelijkbaar veel beter. Deze slangen worden meestal verkocht in platte doosjes waarin één meter slang is opgerold en kosten ongeveer € 5,00.



De waterslangetjes zorgen voor het transport van het koelwater
tussen de verschillende onderdelen van uw koelsysteem. (© AlphaCool)

Hoe flexibeler, hoe beter
Een flexibele slang, zoals siliconenslang, is makkelijker aan te leggen en geeft minder kans op lekkage, omdat een flexibele slang minder snel van een koppeling afschiet. Om te voorkomen dat een slang van de koppeling afschiet, kan de slang erop vastgeklemd worden met een tie-wrapje. In het meest gunstige geval is het koelblok voorzien van nippels in paddenstoelvorm, waar de slang stevig overheen gedrukt wordt. Zorg er in ieder geval voor

dat de slang klein genoeg is om uit zichzelf stevig om een aansluiting heen te klemmen. Eventueel kan door het eind van de slang warm te maken deze makkelijker over een aansluiting geschoven worden. Let er ook op dat de slang zich in de bochten niet platknijpt. Dit is vooral van toepassing op goedkopere, stuggere slang. Soepele siliconenslang heeft dit nadeel niet, maar is wel duurder.

De waterpomp

Op pompen komt het aan
De pomp is het belangrijkste onderdeel van een waterkoeling, want als dit onderdeel het begeeft is de ramp niet te overzien. Er bestaan uiteraard diverse modellen en uitvoeringen. De pomp kan een eenvoudig model zijn dat op 12 V_{dc} draait, of een model dat op de netspanning van 230 V loopt. Let er echter wél op dat nogal wat materiaal afkomstig is uit Amerika of Taiwan en dat netgevoede pompen daar op 110 V draaien.
Om u een idee te geven ziet u in onderstaande figuur een populaire waterpomp van het fabrikaat *Laing*. De afmetingen bedragen slechts 90 mm x 62 mm x 38 mm. Deze pomp werkt op 12 V_{dc}, verbruikt 18 W en heeft een onbelast debiet van 900 l/h. De maximale watertemperatuur mag 60 °C bedragen, dus daar moet u wél op letten. De motor van deze pomp bestaat uit een permanente magneet die ronddraait in een wisselend magnetisch veld dat door een aantal spoelen rond de pomp wordt gegenereerd. Het centrifugale schoepenrad dat verantwoordelijk is voor de pompwerking is rechtstreeks op de permanente magneet bevestigd. Deze eenvoudige constructie met slechts één bewegend onderdeel staat garant voor een lange betrouwbare levensduur. De fabrikant spreekt van een gegarandeerde levensduur van 50.000 uur, dus meer dan vijf jaar aan een stuk door draaien.
De pomp wordt geleverd met een drie-aderig kabeltje dat u in de moederbord-connector voor de ventilator kunt pluggen. Via de derde ader wordt het toerental van de pomp gemeld, zodat dit in de BIOS wordt weergegeven.



Deze pomp van Laing werkt volgens het centrifugaal principe. (© Laing)

Belangrijke opmerking
Laat, voordat u de pomp aanzet, eerst het pomphuis vollopen met water. Dit voorkomt dat de pomp droog loopt en kapot gaat. Dit is doodsoorzaak nummer één voor waterpompen!

Het waterreservoir

Een voorraadje water is wél zo handig
Natuurlijk moet u het koelsysteem vullen met water. Daarvoor zijn handige reservoirs op de

markt, die op de achterzijde van de PC-kast worden gemonteerd. In onderstaande figuur wordt als voorbeeld het *'Ion Reservoir'* van *XSPC* voorgesteld. Dit tankje van 58 mm x 50 mm x 154 mm is gemaakt uit geëloxeerd aluminium en is aan de bovenzijde voorzien van een groot afgedicht M20 gat voor het bijvullen van het systeem. Links en rechts zitten twee afgesloten nippels waarop u de af- en aanvoerslangen kunt aansluiten. Het reservoir kan 160 ml water bevatten. Via de glazen voorzijde kunt u de stand van het water controleren. Uiteraard worden dergelijke attributen tegenwoordig geleverd met frivoliteiten als ingebouwde LED-verlichting in diverse kleuren, maar u moet zélf maar bepalen of u hiervoor een heleboel extra geld wilt uitgeven.



Het waterreservoir zorgt voor voldoende koelwater in het koelsysteem. (© XSPC)

De radiateur

Heet water wordt gekoeld
De radiateur moet het warme water weer koelen nadat het door de processor en/of de grafische processor en/of de harde schijf is verwarmd. Een radiateur wordt in de slang opgenomen tussen het koelblok en het reservoir, of tussen het reservoir en het koelblok.

Diverse uitvoeringen
Radiateuren zijn er in alle maten, soorten en uitvoeringen. In de eenvoudigste uitvoering wordt het water door een zigzagvormige metalen pijpje gevoerd, dat voorzien is van koelribben. Het geheel kan tegen de achterzijde van de systeemkast worden bevestigd en het is de bedoeling dat de circulerende lucht voor voldoende koeling zorgt. Onderstaande radiateur van Chinese *FreezeMod* heeft als afmetingen 12,0 cm x 15,0 cm x 2,5 cm



De warmtewisseling tussen water en lucht gebeurt door natuurlijke convectie. (© FreezeMod)

Radiateur met geforceerde koeling
Toch is het niet verstandig een dergelijke radiateur aan te schaffen. Als u tóch bezig bent met geld uit te geven kunt u meteen het beste van het beste installeren. Kies dus een radiateur die is voorzien van een stel ventilatoren, die zorgen voor een geforceerde warmte-overdracht tussen het koelwater en de lucht.
In onderstaande figuur wordt de *'Water 3.0 Ultimate'* van de firma *Thermaltake* voorgesteld. Bij dit model wordt het hete water door een uitgebreid pijpensysteem gevoerd dat via koelribben en drie ventilatoren op kamertemperatuur wordt gehouden. De radiator is van aluminium en heeft als afmetingen 393 mm x 120 mm x 27 mm.



Aan te raden: een radiateur met geforceerde luchtkoeling. (© Thermaltake)

Plaatsing van de radiateur
U kunt de radiateur op drie manieren plaatsen:

- In de ingaande luchtstroom de kast in.
- In de uitgaande luchtstroom de kast uit.
- Geheel buiten de kast.

Het voordeel van de laatste twee oplossingen is dat de warmte van de processor niet in de kast terecht komt, waardoor verdere fans waarschijnlijk overbodig zijn. Het mooiste is dus de radiateur te plaatsen in de luchtstroom naar buiten. Door toepassing van waterkoeling zal de temperatuur in de kast niet hoog zijn. Warmte van de processor wordt niet de kast ingeblazen, maar wordt de kast uitgeblazen. Door alle onderdelen van het systeem in de kast te houden is het systeem natuurlijk wél minder gevoelig voor storing.

Extra attributen

Dat was het, of toch niet?
In principe bestaan een waterkoeling systeem dus niet uit erg veel onderdelen. Toch is er nog één extra onderdeel dat niet bijdraagt aan de koeling maar dat in feite onmisbaar is.

Een flowmeter
Doet hij het wél of doet hij het niet? Een belangrijke vraag, want als het mooie waterkoeling systeem in de fout gaat kost dat de dure processor. Vandaar dat wij u ten stelligste aangeraden een flowmeter in het systeem op te nemen. Het principe is bekend van de benzinepomp. Een vaantje zit in de stromende vloeistof. Draait het vaantje, dan pompt het systeem water naar de hete processor. Staat het vaantje stil, dan is er iets mis en moet de PC onmiddellijk worden uitgeschakeld. In onderstaande figuur wordt de *'Glowry 2 Way Flow Meter Indicator'* voorgesteld. Het apparaatje is voorzien van twee nippels en wordt simpelweg ergens in een van de slangen opgenomen. Het is uiteraard wél de bedoeling dat dit apparaatje ergens goed zichtbaar wordt gemonteerd, want anders hebt u er nog niets aan.



De flowmeter: een duur woord voor een eenvoudig en goedkoop onderdeeltje dat in feite onmisbaar is. (© Glowry)

Elektronische flow- en thermometers
Door verschillende leveranciers van waterkoeling systemen worden elektronische flow- en thermometers aangeboden, die de doorstroming en de temperatuur van het koelwater bewaken. Een veel beter, maar ook veel duurder systeem dan de simpele draaiende flowmeter. Er zijn uiteraard exemplaren die met de PC communiceren via een USB-connector. De bijgeleverde software zorgt dat er een alarmvenster op de monitor verschijnt op het moment dat de temperatuur van het koelwater boven een bepaalde grens stijgt of de stroomsnelheid onder een bepaalde waarde daalt. Een héél luxueus systeem dat de dure ingewanden van uw PC optimaal beschermt!



Een voorbeeld van een elektronische flowmeter met uitlezing van de temperatuur. (© Thermaltake)